

УДК 681.325

## ЗОНАЛЬНО-ПОРОГОВАЯ СЕЛЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ БЫСТРОГО ДВУМЕРНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХААРА

д.т.н., проф. А.В. Королёв, к.т.н. К.О. Бохан, Ю.П. Сальник

*Предложена математическая модель порога зонально-пороговой селекции коэффициентов двумерного преобразования Хаара, позволяющая регулировать качество восстановленного изображения при достижении необходимого коэффициента сжатия.*

**Постановка проблемы.** Последние годы стремительно возрастает объем информации, необходимый человечеству для жизнедеятельности. Появление и широкое распространение огромного количества источников цифровой информации (спутники различного назначения, цифровые камеры и фотоаппараты, сканеры и различного рода ЭВМ) вызвало ситуацию, в которой существующие системы связи оказались неспособны обеспечить необходимую пропускную способность каналов связи. Работа по решению этой проблемы вылилась в разработку форматов сжатия JPEG, MPEG, TIFF, GIF и другие. Данные форматы реализованы во многих алгоритмах сжатия. Так при использовании программной реализации наиболее распространенного формата сжатия JPEG, предлагаемой в Corel 11, оператору предлагается выбрать «компрессию» от 0 до 100 и после сжатия оценить полученный результат.

Отрицательной чертой современных алгоритмов сжатия с потерями является то, что потери происходят равномерно по всему изображению и нет возможности выбрать уровень детализации, которым можно пренебречь для данного изображения, в зависимости от предъявляемых конкретным оператором требований.

**Анализ литературы.** Возросший за последние 20 лет интерес к сжатию данных стимулировал появление достаточно большого количества литературы по этому вопросу. Однако, в отличие от фундаментальных трудов [1 – 3], современная литература носит скорее описательный характер конкретных алгоритмов сжатия информации [4 – 6] и пути достижения излагаемых в литературе коэффициентов сжатия остаются неизвестными.

**Цель статьи.** Разработать способ зонально-пороговой селекции коэффициентов двумерного преобразования Хаара, позволяющий регулировать качество восстановленного изображения для достижения необхо-

димого коэффициента сжатия при допустимой потере качества.

**Выделение зон селекции коэффициентов трансформанты преобразования Хаара.** Для определения конфигурации зон селекции коэффициентов трансформанты Хаара используем следующее правило: зона селекции включает коэффициенты преобразования Хаара  $y_{k,\ell}$  ( $k, \ell$ -й подматрицы двумерной матрицы Хаара) с одинаковой чувствительностью [7]. При этом чувствительность характеризуется количеством отсчетов, определяющих соответствующий коэффициент, и их расположением в блоке изображения

$$y_{k,\ell} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} x_{i,j} h_{k,\ell}(i,j),$$

где  $N$  – размерность обрабатываемого фрагмента изображения;  $h_{k,\ell}(i,j)$  – значение  $k, \ell$ -й подматрицы двумерной базисной функции Хаара;  $x_{i,j}$  – отсчет исходного изображения.

В соответствии с правилом конфигурация зон селекции в трансформанте Хаара размерности  $8 \times 8$  имеет вид, приведенный на рис. 1.

1							
	2		3			6	
	4		5			8	
	7		9			10	

Рис. 1. Зоны селекции трансформанты двумерного преобразования Хаара

На рис. 1 сплошной линией показаны границы зон трансформанты, а пунктирной линией показано распределение коэффициентов преобразования в зоне. Проанализируем перераспределение энергии изображения по зонам трансформанты  $E_{s,m}$  при двумерном преобразовании Хаара [3, 8]:

$$E_{s,m} = \sum_{k=a}^c \sum_{\ell=b}^d y_{k,\ell}^2, \quad (1)$$

где  $s = \overline{1, 10}$  – номер зоны блока обрабатываемого изображения;

$m = \overline{1, M}$  – номер блока обрабатываемого изображения;  $M$  – количество блоков размерностью  $N \times N$  в изображении;  $a, b, c, d$  – координаты  $s$ -й зоны блока трансформанты.

Например, по формуле (1) энергия 10-й зоны  $E_{10,m} = \sum_{k=4}^7 \sum_{\ell=4}^7 y_{k,\ell}^2$ .

Анализ показал, что суммарная энергия  $E_{\Sigma}$  изображения концентрируется в 1-й зоне трансформанты

$$E_{\Sigma} = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{s=1}^{10} E_{s,m} . \quad (2)$$

Распределение энергии  $E_{\Sigma}$  по 2 – 10-й зонам показывает на наличие соответствующего уровня детализации анализируемого изображения.

Сжатие информации, полученное путем исключения целой зоны [8], не учитывает, что в реальных изображениях даже с низкой насыщенностью [7], присутствуют области с достаточно высокой степенью детализации. Практика показывает, что в таких изображениях при полном исключении зон, отвечающих за мелкие детали изображения (8 – 10-я зоны), вносимые искажения особенно заметны.

**Пороги селекции коэффициентов трансформанты преобразования Хаара.** Рассмотрим высоконасыщенное, средненасыщенное и малонасыщенное [7] изображения. Среднеарифметическое  $\bar{E}_s$  и максимальное  $E_{S_{\max}}$  значение энергий зоны блоков трансформанты равны:

$$\bar{E}_s = \frac{\sum_{m=1}^M E_{s,m}}{M} ; \quad (3)$$

$$E_{S_{\max}} = \max_{m=1, \dots, M} (E_{s,m}) . \quad (4)$$

Зависимость энергий  $\bar{E}_s$  (3) и  $E_{S_{\max}}$  (4) от номера зоны  $s$  рассмотренных изображений отображена на графиках рис. 2, 3. Анализ полученной гистограммы максимальных значений энергии зон показывает, что  $E_{S_{\max}}$  мало изменяется в зависимости от степени насыщенности изображения. Это подтверждает предположение о том, что в любом классе насыщенности изображений присутствуют области с высокой степенью насыщенности. Анализ гистограммы среднеарифметических значений энергий зон  $\bar{E}_s$  показывает, что: 1) распределение энергии  $E_{\Sigma}$  анализируемых изображений существенно отличается, что подтверждает классификацию по степени насыщенности; 2) около 90% энергии изображения  $E_{\Sigma}$  при преобразовании концентрируется в 1-й зоне.

С целью не допустить потерю значимой информации в восстановленном изображении предлагается использование зонально-пороговой селекции коэффициентов полученных зон трансформанты. При селекции зона

блока трансформанты сохраняет свое значение в случае, если величина ее энергии выше пороговой энергии для данной зоны, иначе зона исключается.

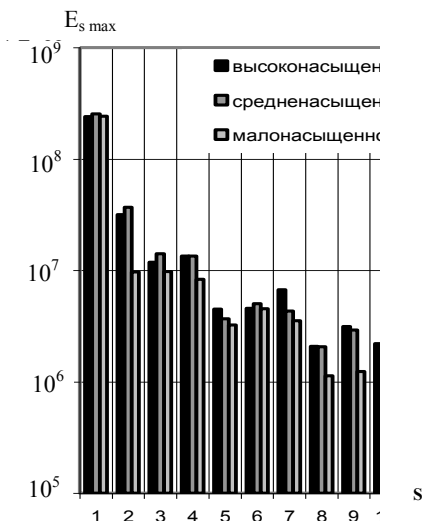


Рис. 2. Гистограмма максимальных значений энергии зон  $E_{s \max}$  анализируемых изображений

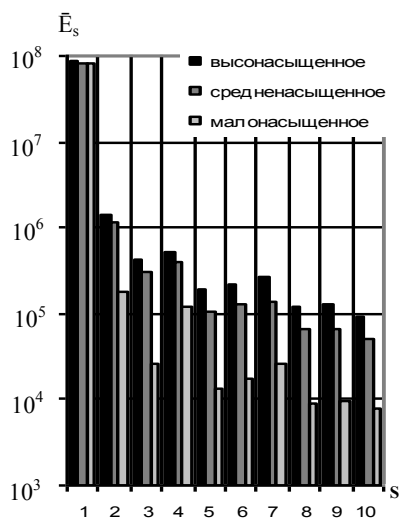


Рис. 3. Гистограмма среднеарифметических значений энергии  $\bar{E}_s$  s-й зоны анализируемых изображений

При разработке математической модели порогов селекции зон учитывались следующие требования:

- учет особенностей обрабатываемого изображения, например, степени насыщенности;
- доступность физического смысла предложенных мер качества восстановленного изображения для оператора;
- выполнение селекции коэффициентов при минимальных затратах машинного времени;
- гибкое управление соотношением коэффициент сжатия/качество восстановленного изображения оператором с целью достижения необходимого эффекта от сжатия.

Выполнение выдвинутых требований возможно обеспечить при расчете порога селекции  $E_{p_s}$  как функционала

$$E_{p_s} = f(Q_s, \bar{E}_s), \quad (5)$$

где  $Q_s$  – мера качества s-й зоны сжатого изображения,  $Q_s = \overline{1, 10}$ .

При таком подходе:

- величина среднеарифметической энергии зоны  $\bar{E}_s$  позволяет учитывать распределение энергии по зонам трансформанты обрабатываемого изображения [7, 8] при выборе порога;

– мера качества  $Q_s$  сжатого изображения, установленная оператором, позволяет управлять величиной порога селекции каждой зоны  $E_p$  с целью получения необходимого коэффициента сжатия.

За счет того, что каждая зона, начиная со 2-й, отвечает за все более мелкие детали изображения (локальная чувствительность коэффициентов преобразования Хаара) и равномерного увеличения порога; обеспечивается гибкость управления качеством восстановленного изображения, что позволяет найти оптимальное соотношение качество/коэффициент сжатия для тех исходных условий, в которых происходит обработка изображений.

**Выводы.** Разработанный способ зонально-пороговой селекции коэффициентов двумерного преобразования Хаара позволяет регулировать качество восстановленного изображения при достижении необходимого коэффициента сжатия при допустимой потере качества. Способ позволяет выбрать оператору тот уровень детализации, которым можно пренебречь в данных условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
2. Скляров В.С. Математические модели информационных систем. – Х.: ХВВКИУ РВ, 1989. – 479 с.
3. Прэнтт У. Цифровая обработка изображений: Том 1, 2. – М.: Мир, 1985. – 736 с.
4. Бондарев В.Н, Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. – Х.: Конус, 2001. – 398 с.
5. Миано Дж. Форматы сжатия изображений в действии. – М.: Триумф, 2003. – 354 с.
6. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.
7. Королёв А.В., Бохан К.А., Сальник Ю.П. Оценка степени насыщенности изображений // Моделювання та інформаційні технології. – К.: ІПМЕ НАНУ. – 2003. – Вип. 22. – С. 88 – 93.
8. Королёв А.В., Бохан К.А., Сальник Ю.П. Исключение зон трансформанты Хаара // Збірник наукових праць ІПМЕ. – К.: ІПМЕ НАНУ. – 2003. – Вип. 22. – С. 68 – 73.

Поступила 19.04.2004

**КОРОЛЁВ Анатолий Викторович**, доктор технических наук, профессор. В 1969 году окончил Харьковское ВКИУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.

**БОХАН Константин Александрович**, старший инженер ИВЦ ХВУ. В 1999 году окончил ХВУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.

**САЛЬНИК Юрий Павлович**, адъюнкт ХВУ. В 2000 году окончил ХВУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.